

世界の地震電磁気観測衛星の現状

宇宙航空研究開発機構 宇宙利用推進本部
衛星運用技術部 主任開発員 児玉 哲哉

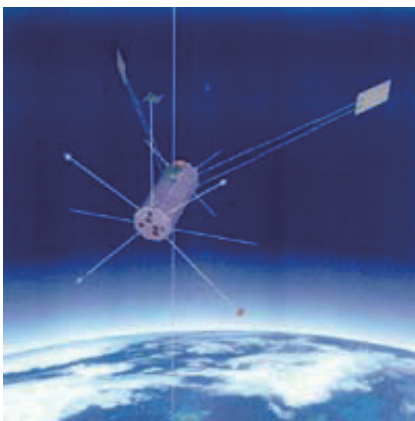
1980年代より、多くの科学衛星によって電離層及び磁気圏における地震に伴う現象が報告されている。特に ULF/ELF/VLF 帯の放射が Intercosmos-19、Intercosmos-Bulgaria 1300、Aureol-3、Cosmos-1809、Intercosmos-24、OGO-6 等の衛星によって観測されている。

旧ソ連においてこれらは地震に伴う電磁放射として既に確立されており、特に ELF 放射については数百の地震に対する定量的解析によって明らかとなっている。そのほか準定量的な地電流、電離層プラズマ、地磁気脈動、ホイストラ変調等の電磁気放射、大気中の発光現象、電離層 E 及び F 層の擾乱、電離層上部のプラズマ成分及び温度変化、震央近傍における VLF 及び HF 波の強度及び位相変化、大気成分変化、或る種のエアロゾル雲の形成、地下水の重元素成分の増加他、非常に多くの事項に関して報告されている[1]。

これらの多くは、地震学とは直接関係しない分野における研究の成果として報告されているため、地震予知に関する議論の分かれる大きな要因となっている[2, 3]。

マグニチュード7以上の大地震は、世界では年間10~20回発生しているため、衛星を利用すれば短期間に定量的評価が可能である。これが世界各機関において衛星観測が提案・実施されている理由である[4]。

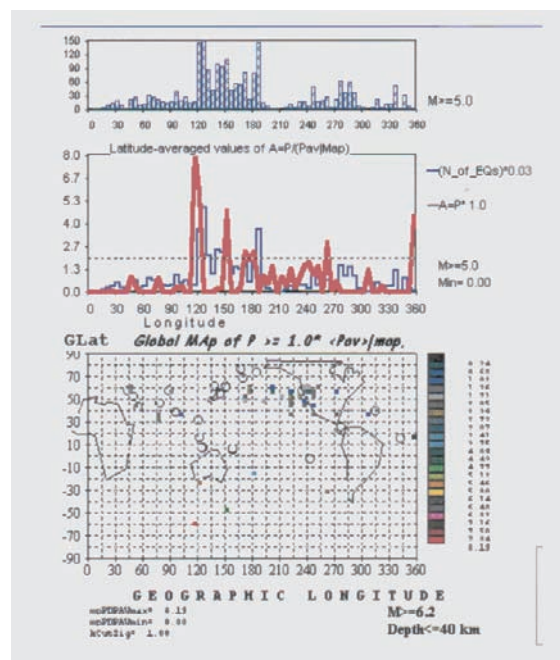
旧ソ連の崩壊後、各国の研究グループによって衛星計画が提案されるようになった。弾道ミサイルの開発を行っていたアルセナル設計局は、ロシア宇宙庁の研究予算で Predvestnik-E[5]という地震電磁気衛星構想を提唱し、アメリカとの共同開発を目論んでいた。独立したウクライナでも Warning[6]という計画が高い優先度にあったようだが、どちらも実現はされなかった。



Predvestnik-E (Arsenal design bureau)

1991年、フランスでは国立科学研究センター(CNRS)の Parrot を中心としたグループが、国立宇宙研究センター(CNES)に対し、後の DEMETER 計画に繋がる SEISM(Les Effets Seismoelectromagnetiques)という衛星計画を提案している。

1994年、旧宇宙開発事業団の諮問委員会である地球環境観測委員会に、地球電磁場ミッション調査サブグループが設置され、低軌道小型衛星[7]による観測計画が提案された[8]。翌年の阪神淡路大震災を契機として、1996年より開始された地震リモートセンシングフロンティア研究の一環として、Intercosmos-24 及び Cosmos-900 のプラズマデータを解析した結果、全球地震分布と電離層プラズマ擾乱に良い相関があることが明らかとなった[9]。また、国際科学技術センター(ISTC)支援研究の一環として、ISTC-417R:宇宙からの地震電磁気モニターを実施、技術報告を取得した[10]。



Statistical study of ionospheric plasma response to seismic activity: search for reliable result from satellite observations (Afonin, Molchanov, Kodama, Hayakawa, and Akentieva)

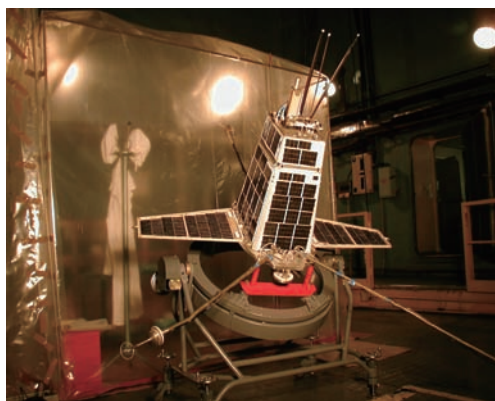
1999年の第2回日仏宇宙協力シンポジウムではフランスから DEMETER の受信協力の提案がなされた[11]。しかし地震リモートセンシングフロンティア研究の終了に伴い、実現には至らなかった[12]。

同年、ロシア科学アカデミー副総裁のウラジミール・ウトキン博士は、第 21 回宇宙ステーション利用計画ワークショップで地震予知研究計画について発表した[13]。

ロシアはその後、2002 年の International Workshop on Earthquake Precursors、2003 年の国連宇宙空間平和利用委員会及び第 18 回世界宇宙飛行士会議において「バルカン」という地震電磁気観測衛星群への協力を提案している[14, 15, 16]。

Kompass

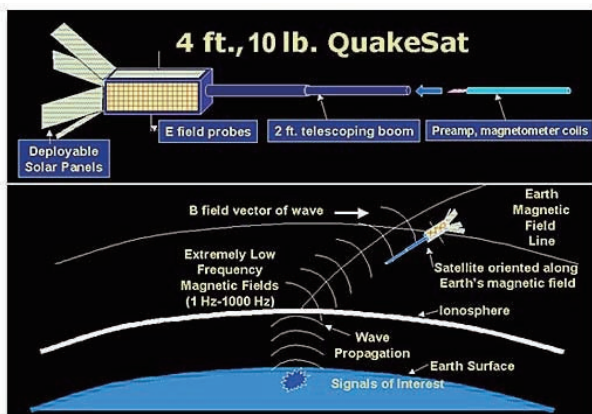
史上初の地震電磁気観測衛星は、ロシアが 2001 年 12 月 10 日にバイコヌール宇宙基地から打上げた重量 80kg の Kompass[17]という衛星である。設計は地磁気・電離層・電波伝搬研究所 (IZMIRAN)、製作はマケイエフ設計局が実施した。打上げ後、通信系に不具合が発生したため観測結果は不明である。衛星は現在も高度約 1000km の極軌道を周回している。



Kompass (Photo by Dr. Pulinets)

Quakesat

史上 2 番目の衛星はアメリカのベンチャー企業 Quakefinder によって 2003 年 6 月 30 日に打上げられた重量 3kg の Quakesat[18]である。衛星製作はスタンフォード大学が実施し、地上設備に NASA と米空軍が資金援助を行ったと報じられている[19]。



Quakesat (Quakefinder)

Quakesat はサーチコイル磁力計と電場測定用に 2 組のダイポールアンテナを搭載している。2004 年 1 月に搭載バッテリーを喪失したものの、2004 年 5 月末までの約 11 ヶ月間に、2000 パスのデータ取得に成功している[20]。

観測軌道に日照条件のいい Dawn Dusk Orbit を選定したため、日昇・日没時の電離層が不安定な時間帯の観測を余儀なくされたが、2003 年 8 月 21 日のニュージーランド南島の地震 (M7. 2)、12 月 1 日のカザフスタン・新疆国境付近の地震 (M6. 0) 及び 12 月 22 日のサン・シメオン地震 (M6. 5) の際に、DC から 140Hz までの広い帯域にわたる放射を観測したと報告している[21]。

Quakefinder は 2008 年に Quakesat-2 の打上げを計画している。

DEMETER

2004 年 6 月 29 日、フランスはバイコヌール宇宙センターからドニエプルロケット (大陸間弾道ミサイル SS-18 を衛星打上げ用ロケットに転換したもの) によって DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) の打上げに成功した[22]。重量 130kg の DEMETER は、三成分磁力計、電界プローブ、プラズマ・粒子観測装置を搭載し、打上げから 2 年半を経過した現在でも順調に運用されている[23]。



DEMETER (CNES)

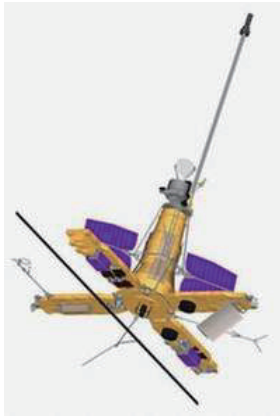
2006 年 6 月に開催された DEMETER International Symposium の発表によれば、カザフスタンがフランスの協力で同種の衛星 Kazafstan-1 の開発を計画中とのことである[24]。

Sich-1M

ウクライナ・ロシア共同の地球観測衛星 Sich-1M は 2004 年 12 月 24 日に打上げられたが、ロケットの問題で所定の軌道投入に失敗し、2005 年末に大気圏に再突入した。

重量 2200kg の Sich-1M は、主ミッションである環境監視を目的とした可視近赤外放射計、マイクロ波放射計の他、

地震に伴う電磁気観測を目的とした Variant という国際協力による電磁波観測装置を搭載し、DEMETER との共同観測を予定していた。[25]

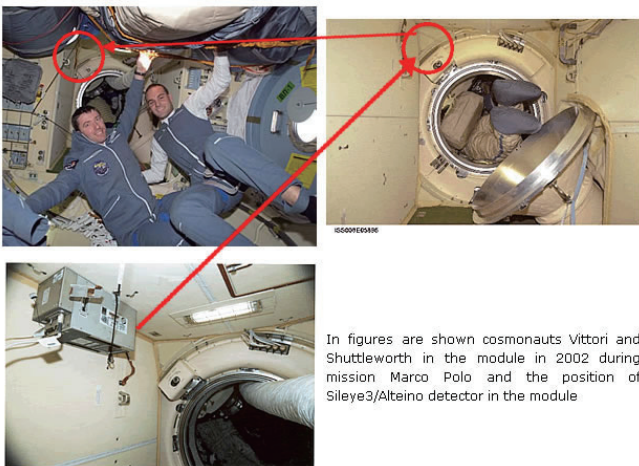


Sich-1M (Yuhznoye)

現在ウクライナ宇宙局では IONOSATS という衛星群の打上げ計画し[26]、Yuhznoye は Poperedjennia という小型衛星と、衛星群による観測システム提案している。[27,28]

LAZIO-Sirad

人工衛星ではないが、イタリアは 2005 年 2 月、国際宇宙ステーションの居住モジュール内に地震に伴う放射線の観測を目的として、LAZIO-Sirad という粒子検出器を搭載した。観測データはデータカードに記録されるため、回収後に地震との相関解析が実施される。[29]



LAZIO-Sirad(INFN)

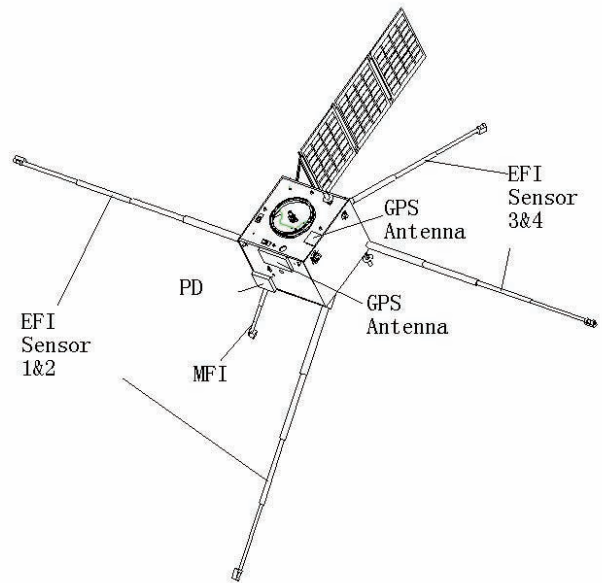
この他イタリアは、ESPERIA という独自の地震電磁気観測衛星計画を有している。[30]

Kompass-2

2006 年 5 月 26 日、ロシアは原子力潜水艦ミサイルを衛星打上げ用に転用した Shtil により、バレンツ海から Kompass-2 の打上げに成功した。軌道投入直後より、衛

星との通信が不能になっていたが、11 月 16 日から復旧した模様である。現在初期データの取得に成功している。[31]

以上の計画に加え、中国国家航天副局長 Luo Ge は 2006 年の 22nd National Space Symposium において、Magnetic Field Detection Satellite という DEMETER に酷似した衛星の打上げを公表している他[32]、台湾でも日本の電子温度プローブを搭載した小型衛星計画が進展中である。



Magnetic Field Detection Satellite (CNESA)

現時点において宇宙航空研究開発機構では本分野に関する衛星システム検討は承認されていないものの、1982 年に打上げられた太陽観測衛星「ひのとり」が取得した低軌道プラズマデータと地震の相関解析を実施しており、地震の数日前から震源周辺上空の電離層プラズマの電子温度の低下を検出している[33]。

(追記:2006 年 11 月 22 日の第 12 回宇宙理学委員会で、低軌道から地球電磁環境を観測する小型衛星:ELMOS ワーキンググループの設置が承認された)[34]

総合科学技術会議・第 15 回宇宙開発利用専門調査会での論点と対応(案)によれば、「地球観測衛星の利用において、科学的知見を活用した災害の予知・予測を行う必要がある、国際貢献のあり方としても議論が必要である」との指摘がある[35]。昨年、文部科学省科学技術政策研究所も、今後 30 年間で最も重要な研究開発課題は大地震や火山噴火の高精度予測技術と、人工衛星や無人飛行機などを活用した災害危機管理システムであると報告している。[36]

本ミッションは地震火山国の宇宙機関として実施すべき将来ミッションとして相応しいものではないだろうか？[37]

References

- [1] Seismo Electromagnetics Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling, Edited by Hayakawa and Molchanov, Terra Sci. Pub. Co., ISBN No. 4-88704-130-6
- [2] Is the reliable prediction of individual earthquakes a realistic scientific goal?, nature debates, 1999
<http://www.nature.com/nature/debates/earthquake/equakeframeset.html>
- [3] 上田、地球電磁気的方法による地震予測の現状と展望
http://wwwsoc.nii.ac.jp/cgi/library/64_uyeda.pdf
- [4] Pulinet and Boyarchuk, Ionospheric Precursors of Earthquakes, ISBN 3-540-20839-9
- [5] Arsenal design bureau named after M.V.Frunze
<http://www.globalsecurity.org/space/world/russia/frunze.htm>
- [6] Mission WARNING
<http://space.ups.kiev.ua/projects/warning/>
- [7] Electric and Magnetic field Observation Satellite (ELMOS)
<http://www.eorc.nasda.go.jp/Sciences/ERSFR/ELMOS.html>
- [8] 宇宙開発事業団特別報告 地球電磁場環境観測ミッション SPP-950002
- [9] Afonin, Molchanov, Kodama, Hayakawa and Akentieva, Ionospheric plasma response to long seismic influence: search for reliable result from satellite observations, Abstracts of International Workshop on Seismo-Electromagnetics '97, NASDA-CON-960003
- [10] ISTC-417R: Feasibility study of seismo-electromagnetic phenomena by satellite observations
http://www.eorc.nasda.go.jp/Sciences/ISTC_project/
- [11] 第2回NASDA/CNES主催日仏宇宙協力シンポジウムの開催結果について
http://www.nasda.go.jp/press/1999/02/sympo_990226_j.html
- [12] 日本政府よ なぜ衛星デメテルの「前兆情報」を黙殺するのか、週刊文春 2000年10月12日号
- [13] Utkin、ロシアの宇宙ステーション利用計画について、第21回宇宙ステーション利用計画ワークショップ、1999年
<http://idb.exst.jaxa.jp/jdata/02160/199906J02160060/199906J02160060.html>
- [14] The Problems of Satellite Monitoring of Earthquake Precursors and Russian Satellite Constellation "Vulkan"
<http://www.ss.ncu.edu.tw/~istep/word/F6.doc>
- [15] Oraevsky et. al., Small Satellites Constellation for Monitoring of Natural and Man-made Catastrophes, Scientific and Technical Subcommittee: 2003, Committee on the Peaceful Uses of Outer Space, United Nations
- [16] 宇宙飛行ミッションについての最新報告, 第18回世界宇宙飛行士会議, 2003年10月
<http://iss.sfo.jaxa.jp/ase-j/05.html>
- [17] The COMPASS Spacecraft
<http://www.astro.helsinki.fi/projects/hesa/microsat/compass.doc>
- [18] <http://www.quakefinder.com/quake-sat-ssite/>
- [19] **Satellites aim to shake up quake predictions**
<http://www.nature.com/nature/journal/v424/n6948/full/424478a.html>
- [20] QuakeSat Lessons Learned, Quakefinder
http://www.quakefinder.com/quake-sat-ssite/documents/Lessons_Learned_Final.pdf
- [21] Quakesat as an Operational Example, 18th Conference on Small Satellites, 2004
http://www.quakefinder.com/2004results/QF_SmallSat2004.pdf
- [22] <http://smc.cnes.fr/DEMETER/>
- [23] <http://demeter.cnrs-orleans.fr/>
- [24] <http://www.cta-events.com/demeter/>
- [25] <http://isr.lviv.ua/variant.htm>
- [26] <http://www.cosis.net/abstracts/COSPAR2006/00628/COSPAR2006-A-00628.pdf>
- [27] http://www.yuzhnoye.com/index.php?id=141&path=Aerospace%20Technology/Spacecraft/Scientific/Poperedjennia/Poperedjennia_e&lang=en
- [28] 村川、地震前兆現象観測と宇宙気象観測に向けた電離層衛星利用多点観測システム、第3回宇宙ミッションシンポジウム、2005年9月
- [29] http://people.roma2.infn.it/~lazio/html/lazio_coll.php
- [30] <http://www.fis.uniroma3.it/esperia/esperia.htm>
- [31] <http://compass.izmiran.ru/>
- [32] Luo, The Chinese Space Program, 22nd National Space Symposium 2006
<http://www.spacesymposium.org/national06/>
- [33] 小山ら、地震の電離圏への影響、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 2004年度年次要覧
- [34] <http://www.isas.jaxa.jp/home/rigaku/wg.html>
- [35] 総合科学技術会議、第15回宇宙開発利用専門調査会、平成15年11月27日
- [36] 文部科学省科学技術政策研究所、我が国における科学技術の現状と今後の発展の方向性、2005年5月
- [37] 児玉、地震火山国の宇宙機関として実施すべき将来ミッションは何か?、第2回宇宙ミッションシンポジウム、2004年12月
http://aerospacebiz.jaxa.jp/topics/2005/topics20050325_j.html